

Helsinki 27.1.2004

REC'D 09 FEB 2004

WIPO

PCT

E T U O I K E U S T O D I S T U S
P R I O R I T Y D O C U M E N T



Hakija
Applicant

Metsö Paper, Inc.
Helsinki

Patentihakemus nro
Patent application no

20022023

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

Tekemispäivä
Filing date

13.11.2002

Kansainvälinen luokka
International class

B65H

Keksiinön nimitys
Title of invention

"Menetelmä kiinnirullaimen ohjaamiseksi"

Täten todistetaan, että oheiset asiakirjat ovat tarkkoja jäljennöksiä, Patentti- ja rekisterihallitukselle alkuaan annetuista selityksestä, patenttivaatimuksista, tiivistelmästä ja piirustuksista.

This is to certify that the annexed documents are true copies of the description, claims, abstract and drawings originally filed with the Finnish Patent Office.

Markkula Tehikoski
Markkula Tehikoski
Apulaistarkastaja

Maksu 50 €
Fee 50 EUR

Maksu perustuu kauppa- ja teollisuusministeriön antamaan asetukseen 1027/2001 Patentti- ja rekisterihallituksen maksullisista suoritteista muutoksineen.

The fee is based on the Decree with amendments of the Ministry of Trade and Industry No. 1027/2001 concerning the chargeable services of the National Board of Patents and Registration of Finland.

Menetelmä kiinnirullaimen ohjaamiseksi
Förfarande för att styra en rullstol

5

Keksinnön kohteena on patenttivaatimuksen 1 johdanto-osan mukainen menetelmä.

Tekniikan tasosta tunnetuissa kiinnirullaimissa käynnistettäessä uusien leikkureiden 10 kiinnirullaimia tai aloitettaessa uusien paperilajien kiinnirullaus jo käytössä olevilla leikkureilla rullan rakennetta ohjaavat ns. rullausparametrit; nippikuorma, rainan ki- reys ennen kiinnirullainta sekä rullausvoima, jotka tunnetuissa sovelluksissa asetetaan kokemusperäisesti rullan halkaisijan funktiona nk. rullausresepteiksi. Alkuarvaukset rullausresepteille ovat yleensä peräisin muita leikkureilta, joilla on ajettu samaa tai samankaltaista paperilajia. Saman lajinimikkeen omaavien paperilajien ominaisuuksien 15 suuresta paperikonekohtaisesta vaihtelusta johtuen joudutaan aina kuitenkin turvautumaan tapauskohtaisiin koeajoihin rullausreseptin määrittämiseksi. Jokaiselle paperilajille ja rullan loppuhalkaisijalle tehdään yleensä omat rullausreseptit.

Tekniikan tasosta tunnetuissa sovelluksissa kiinnirullaimilta valmistuneiden rullien 20 laatu määritetään pääosin silmämäärisesti. Useimmissa leikkureilla rullille tehdään myös satunnaisia mittauksia, tavallisemmin mitataan rullan kovuus jollain käsikäyt- töisellä rullan kovuusmittarilla.

Tekniikan tasosta on myös tunnettua varustaa leikkurit pintatiheydenlaskennalla ja 25 -näytöllä. Näissä tunnetuissa sovelluksissa mielivaltaista rullan halkaisijaa vastaava pintatiheyden arvo on laskettu rullan pinnalta paperin paksuuteen syntyneestä muutoksesta.

Tekniikan tasosta tunnetaan sovelluksia, joissa rullan sisäisiä jännityksiä pyritään arvioimaan mittausten avulla. Patentihakemussa *WO 9950719 "Verfahren und Anordnung zur neuronalen Modellierung einer Papierwickel Vorrichtung"* on esitetty menetelmä jossa neuroverkkojen avulla tapahtuvan oppimisen kautta määritetään rainan rullaanmenokireys. Rullausmallien avulla tällöin voidaan laskea rullan sisäinen 5 2-ulotteinen jännitysjakauma. Patentihakemussa *DE 19821318 "Verfahren zum Überwachen der Wickerhärte einer Wickelrolle"* on esitetty rainan rullaanmenokireyden mittausmenetelmä, joka perustuu rainan pituusmuutoksen mittaamiseen rainaan tulostetuista värimuodostumisista merkeistä.

10

Silmämääräisellä arvioinnilla tai kovuusmittarilla mitaten ei suurta osaa rullauksen aikana syntyneistä rullausvioista voida havaita [David R. Roisum: "How to Measure Roll Quality", Tappi Journal 71(10) 1988, David R. Roisum: "Reading a roll", Tappi Journal 81(4) 1998]. Vaikka patentihakemusten WO 9950719 ja DE 19821318 mukaisella menettelyllä voitaisiinkin laskea rullien 2-ulotteinen jännitysjakauma ei potentiaalista tai aktuaalista rullausvaurion syntymistä voida useimmissa tapauksissa estää, sillä edellä mainituissa menetelmissä ei huomioida sellaisia vaurion aiheuttajia, jotka johtuvat rullaan kohdistuvista kuormista paperitehtaan leikkurissa (rullaimessa) sekä paperitehtaan asiakkaan jälkikäsittelylaitteessa.

15

Kuitenkin paperin valmistajan kannalta tärkein ja vakavin laatupalaute rullien laadusta tulee paperitehtaiden asiakkailta, kuten painotaloilta, esimerkiksi silloin kun rullien ajettavuudessa on esiintynyt ongelmia esim. painokoneessa. Tällöin korjaavat toimenpiteet paperin valmistusprosessissa tai leikkurin rullausresepteissä voidaan tehdä vasta useiden päivien tai jopa viikkojen viiveellä. Jos paperin ominaisuuksissa (massa, pintaominaisuudet) tapahtuvat vaihtelut esiintyvät suuremmalla frekvenssillä ei korjaustoimenpiteiden tekeminen ole mielekästä.

Uusia leikkureita käynnistettäessä tai aloitettaessa uusien paperilajien kiinnirullaus jo käytössä olevilla leikkureilla rullausreseptien hakeminen on siten usein hidasta johtuen edellä mainitusta laatupalauteviiveestä.

5 Erityisen ongelmallista rullausreseptien rullausparametrien valinnassa on se, että useimmat viat eivät ole visuaalisen tarkastelun perusteella havaittavissa eivätkä aina ilmene pintatiheys- tai vastaavien mittausten perusteella ja kuten edellä selostettu varsinaisen laatupalautteen saaminen on hidasta.

10 Keksinnön päämäääränä on saada aikaan menetelmä, jonka välityksellä rullausparametrit ovat määritettäväissä siten, että rulla kestää sekä paperitehtaalla että asiakkaalla tapahtuvan käsittelyn.

15 Keksinnön päämäääränä on luoda menetelmä, jota käytettäessä edellä kuvatut ongelmat eliminoituvat tai ainakin minimoituvat.

Keksinnön erityisenä päämäääränä on saada aikaan ohjausmenetelmä kiinnirullaimen ohjaamiseksi, joka ottaa huomioon myös rullaan kohdistuvat kuormat kiinnirullaimessa ja paperitehtaan asiakkaan laitteissa.

20 Edellä esitettyjen ja myöhemmin esille tulevien päämäärien saavuttamiseksi on keksinnön mukaiselle menetelmälle pääasiallisesti tunnusomaista se, mitä on esitetty patenttivaatimuksen 1 tunnusmerkkiosassa.

25 Keksinnön eräänä olennaisena etuna on, että keksintö perustuu siihen, että saavutettu rulla kestää koko elinkaarensa loppuun asti vaurioitumatta, kun taas tekniikan tasosta tunnetut mallit ja järjestelmät pyrkivät siihen, että rullaimella aikaansaadaan rullauksen kannalta optimaalinen rulla.

Keksinnön mukaisessa menetelmässä kiinnirullaimen ohjaamiseksi, jossa laaditaan rullausresepti, joka sisältää rullausparametrit, laskennallisten ja/tai kokeellisten mallien perusteella määritetään rullaimen ajoparametrit ennen ajoa siten, että mallien perusteella rulla kestää vaurioitumatta loppukäytöllaitteessa tapahtuvan kiinnirullauksen. Edullisen lisäpiirteen mukaisesti eksinnön mukaisessa menetelmässä rullaimen ajoparametrit määritetään siten, että mallien perusteella rulla kestää kiinnirullaimessa tapahtuvan kiinnirullauksen. Edelleen erään edullisen lisäpiirteen mukaisesti eksinnön mukaisessa menetelmässä rullan rullausresepti laaditaan halkaisijan tai säteen tai kumuloituvan paperin paksuuden määrän rullausytimellä tai rullatun rainapituuden tai rullatun rainan kierrosmäärän funktiona.

Keksinnön erään edullisen sovelluksen mukaisesti mitataan rullien sisäinen jännitysjakauma, lasketaan kuormitusmallilla rullauksen aikana rullaan kohdistuvat voimat sekä arvioidaan kuljetuksen aikana tapahtuva rullan sisäisten jännitysten relaksatio mallin avulla sekä lasketaan kuormitusmallilla paperitehtaan asiakkaan jälkikäsittelylaitteissa rullaan kohdistuvat voimat.

Keksinnön mukaisen menetelmän edullisen sovelluksen mukaisesti:

- a) kiinnirullattavan rullan sisäinen jännitysjakauma mitataan epäsuorasti 3- tai 2- ulotteisena
- b) rullauksen aikana rullaan kohdistuvien voimien synnyttämät sisäiset jännitykset lasketaan rullan kuormitusmallilla [Kilwa Ärölä: "Simulointiohjelma hyperelastista vierintäkontaktimallia varten" DI-työ TKK 2001.]
- c) valmiin rullan sisäisten jännitysten relaksatio ennenkuin rulla käsitellään paperitehtaan asiakkaan jälkikäsittelylaitteessa (esim. painokone) arvioidaan seka
- d) lasketaan rullan ja aukirullauslaitteen kuormitusmallilla (RAMA) aukirullauksen aikana rullaan kohdistuvat jännitykset ja siirtymät.

Keksinnön mukaisessa menetelmässä tarvittavat paperin materiaalitiedot osittain saadaan leikkuria edeltävien paperinprosessointilaiteiden off- ja on-line mittauksista sekä osittain leikkurin omista mittauksista (esim. radiaalinen ja tangentiaalinen kimmmoduuli).

5

Keksinnön mukaisessa menetelmässä rullausresepti edullisen sovelluksen mukaisesti haetaan siten, että WOT-mallilla (WOT = Wound-On-Tension eli pintakerroksen kireys rainarullassa, josta jossain yhteyksissä käytetään myös lyhennettä WIT = Wound-In-Tension) [M. Jorkama: "Contact Mechanical Model for Winding Nip".

10 Väitöskirja TKK, 2001], rullan rakennemallilla sekä rullan relaksatiomallilla laskettu rullan jännitysjakauma tuottaa RAMA (= loppukäyttöläitteiden kuormitusmalli) mallin mukaan vauriottoman aukirullauksen jälkikäsittelykoneella. Reunaehтоina rullausreseptin haussa ovat rullauslaitteen fysikaaliset ominaisuudet, vaurionton rullaus sekä ajettavuus leikkurilla, jotka arvioidaan kiinnirullaimen kuormitusmallilla. Leikkurin 15 ajon aikana reseptiä takaisinkytetään WOT-mittauksen perusteella siten, että rullaan syntyy edellisen askeleen mukainen jännitysjakauma.

20 Rullanrakenteen mittausmenetelmässä voidaan käyttää esimerkiksi laser-nopeusantureilla mitatun rainan pituusmuutoksen kautta arvoitua WOT:ia. Rullan rakenne lasketaan tällöin Hakielin mallilla [Z. Hakiel: "Nonlinear Model for Wound Roll Stress". Tappi Journal 70(5) 1987] tai vastaavalla [Zabaras N., Liu S., Koppuzha J. and Donaldson E. " A Hypoelastic Model for Computing the Stresses in Center-Wound Rolls of Magnetic Tape" Journal of Applied Mechanics, Vol 61 No. 2, pp. 290-295, 1994]. Myös rullan tiheyttä, paperin paksuutta ja rullausmallia hyväksikäytävää menetelmää voidaan käyttää [David R. Roisum: "The Measurement of Web Stresses During Roll Winding". Väitöskirja WHRC at OSU 1990].

Leikkurin kiinnirullaimen ja jälkikäsittelykoneen rakennemalleissa lasketaan rullan sisällä syntyviä luistoja sekä mahdollisesti myös muita vauriomekanismeja. Laskettu-

jen luistojen avulla rullan vauriopotentiaali arvioidaan käyttäen kokemusperäistä tie-toa sekä rullien vauriomalleja [N. Vaidyanathan and J.K. Good: "The Importance of Torque Capacity in Predicting Crepe Wrinkles and Starring within Wound Rolls". Proceedings of the 3rd IW&B conference. OSU 1995, Lee, Ban-Eop: "Buckling Analysis of Starred Roll Defects in Center Wound Rolls". Väitöskirja WHRC at OSU 1991.]

Valmiin rullan jännitysten relaksoitumisen arvioinnissa käytetään tunnettuja viskoelastisia rullausmalleja, kuten viitettä [W. R. Qualls and J.K. Good: "A Nonlinear 10 Orthotropic Viscoelastic Winding Model". Proceedings of the 3rd IW&B conference. OSU 1995].

Keksinnön mukainen menetelmä tuo "älyn" rullaukseen eli aikaisemmin useita päiviä 15 tai viikkoja kestänyt takaisinkytkevä rullan laadun ja rullausparametrien välillä voidaan tehdä leikkurin ajon aikana. Paperin ominaisuuksissa ja paperitehtaan tuotantolosuhteissa tapahtuneisiin muutoksiin reagointi tapahtuu automaattisesti ja välittömästi.

Keksinnön mukaisella menetelmällä voidaan määrittää nopeasti optimaaliset rullausreseptit uusia leikkureita käynnistettäessä tai aloitettaessa uusien paperilajien kiinnirullaus jo käytössä olevilla leikkureilla. 20

Keksinnön mukainen menetelmä mahdollistaa rullausasemien optimaalisen individuaalisen ohjaksen, joka vähentää myös laatuvahtelua saman muuton rullien välillä. 25

Yhteenvedon omaisesti kuvattuna eksinnön mukaisessa menetelmässä kiinnirullaimen ohjaus perustuu mallin avulla tehtävään rullan loppukäytön ajettavuusennusteeseen, jossa edullisen sovelluksen mukaisesti ennen ajoa mallia iteroimalla määritetään

sellainen WOT vs. halkaisija referenssikäyrä, joka tuottaa optimaalisen ajettavuuden loppukäytössä jälkikäsittelykoneella. Keksinnön edullisten piirteiden mukaisesti leikkurin kiinnirullaimen ajoparametrejä säädetään siten, että mitattu WOT käyrä vastaa mallia iteroimalla saatua WOT referenssikäyrää. Kiinnirullausmallin avulla aikaan-
 5 saatavan ajettavuusennusteen perusteella voidaan myös muuttaa WOT referenssi-
 käyrää. Ajettavuusennusteen laatimisessa käytetään edullisesti hyväksi rullan jännitysten relaksatiomallia ja alkuestimaatti ajoparametreille lasketaan sopivimmin rul-
 lausnippimallista.

10 Seuraavassa keksintöä on yksityiskohtaisemmin kuvattu oheisen piirustuksen kuvioihin viitaten, joiden yksityiskohtiin keksintöä ei ole tarkoitus mitenkään ahtaasti rajoit-
 taa.

15 Kuviossa 1 on esitetty kaaviollisesti keksinnön mukaisen menetelmän perusperiaate.
 Kuvioissa 2 on esitetty kaaviollisesti keksinnön mukaisessa menetelmässä käytettä-
 vää WOT-käyrän valintamenettelyä esimerkin avulla.

20 Kuviossa 3 on esitetty kaaviollisesti esimerkki keksinnön mukaisessa menetelmässä rullausreseptin alkuarvon hakemiseksi.

Kuviossa 4 on esitetty kaaviollisesti kuvion 1 osaprosessi ajettaessa leikkuria, kun leikkurissa on WOT-mittaus.

25 Kuviossa 1 on esitetty keksinnön mukaisen menetelmän erään sovelluksen perusperi-
 aate. Lähtötietoina 11 tarvitaan perustiedot rullattavasta paperista, kuten paksuus,
 kitkakerroin, paksuus- ja konesuunnan elastiset modulit, tiedot paperin viskoelastisista ominaisuuksista, ilman läpäisevyys ja pinnan karheus jne., kiinnirullauslaitteen
 mekaaniset tiedot sekä myös mekaaniset tiedot rullan loppukäyttölaitteesta tai siitä

aukirullauslaitteesta, jossa aukirullaus tulee tapahtumaan. I-vaiheessa valitaan sopiva WOT-käyrä 12. Kuvion 2 selityskohdassa palataan tarkemmin tähän valintaprosesseiin. Jotta tästä WOT-käyrää $WOT_{ref}(D)$ ($D =$ rullan halkaisija) voitaisiin hyödyntää on 5 kiinnirullaimeissa oltava menetelmä arvioida WOT esimerkiksi laskennallisesti tai mittaamalla. Seuraavassa II-vaiheessa valitaan sellainen rullausresepti 13 $R_{ref}(D)$, jolla leikkurin kiinnirullausmallin, III-vaihe, mukaisesti syntyy I-vaiheen mukainen WOT-käyrä 12 $WOT_{ref}(D)$. Tämän jälkeen IV-vaiheessa tarkistetaan vielä kiinnirullauslaitteen kuormitusmallilla, että kiinnirullattavat rullat kestävät kiinnirullauksessa 10 syntyvät kuormitukset 19. Jos kiinnirullausmalli osoittaa, että rullat kestävät, silloin voidaan prosessia jatkaa eli siirrytään V-vaiheeseen, muutoin generoidaan uusi resepti eli palataan II-vaiheeseen $R_{ref}(D)$, joka uusi resepti laskennallisesti tuottaa valitun 15 WOT-käyrän 12 $WOT_{ref}(D)$, ja käydään III- ja IV-vaiheet uudelleen läpi. Jos iterointia tarvitsee vielä tämän jälkeen jatkaa, voidaan uusi resepti generoida esimerkiksi ns. sekanttimenetelmällä [Erwin Kreyszig: "Advanced Engineering Mathematics". Sixth 20 Edition, John Wiley & Sons, Inc. 1988, sivu 956], jolloin kahden peräkkäisen iteration resepteistä muodostetaan gradientin aproksimaatio rullausparametriavaruudessa, esimerkiksi rullan maksimijännitysten ollessa minimoitava kohdefunktio. Minimointitehtävän rajoite-ehtona on se, että rullausresepti tuottaa I-vaiheessa laskennallisesti valitun WOT-käyrän 12. Oletetaan yksinkertaisuuden vuoksi, että edelläkuvatulla 25 tavalla iteroinalla löydetään rullausresepti, joka laskennan perusteella a) kestää kiinnirullauksen ja b) antaa valitun WOT-käyrän. Jos ei tällaista reseptiä löytyisi, pitäisi vielä palata I-vaiheeseen ja hakea uusi WOT-käyrä $WOT_{ref}(D)$ jne. Kuten sanottu, tässä oletetaan, että sovelias resepti on löytynyt ja leikkurin ajo 16 voidaan aloittaa eli siirtyä V-vaiheeseen. Jos rullaimessa tai leikkurissa ei ole toteutettu WOT-mittausta, ajetaan leikkuria V-vaiheessa reseptillä R_{ref} 13 sitä ajon aikana muuttamatta. Jos rullaimella tai leikkurilla on WOT-mittaus, menettely on seuraava: Ajon aikana tästä edellisessä vaiheessa valittua reseptiä R_{ref} korjataan siten, että I-vaiheen mukainen WOT-käyrä 12 $WOT_{ref}(D)$ toteutuu. Reseptin 13 korjaaminen tapahtuu esimerkiksi ensisijaisesti rullausvoimaa, toissijaisesti nippikuormaa ja viimeiseksi kireyttä säätää-

mällä. Kunkin rullausparametrin kasvattaminen kasvattaa WOT:ia. Säätö voidaan toteuttaa esimerkiksi yksinkertaisena PID säätäjänä [K. Åström & T Hägglund: "PID Controllers: Theory, Design, and Tuning". 2nd edition, 1995. Sivut 59-119]. Jos seuraavassa ajossa paperilaji ja lähtötiedot pysyvät olennaisesti samoina, voidaan toteutunut VI-vaiheen mukainen rullausresepti 17 ottaa suoraan seuraavan ajan II-vaiheen rullausreseptiksi 13. Edellä perusperiaate on esitetty vain yksinkertaisen esimerkin valossa. Lisätarkistuksia ja mittauksia voidaan vielä lisätä tähän perusrunkoon. Esimerkiksi IV-vaiheen jälkeen voidaan vielä laskea toteutuneella reseptillä 17 leikkurin kiinnirullausmalli mahdollisten rullausvikojen tarkistamiseksi. Lopputulos tarkistetaan ennen seuraavaa ajoa. Jos laskenta osoitti rullien kestävän, ei lisätoimenpiteisiin ole tarvetta. Jos taas laskenta osoitti, että vauriotodennäköisyys on suuri, on ryhdyttää iteroimaan sopivaa WOT-käyrää 12 tai asetettava lisärajoituksia rullausparametreille.

15 Kuviossa 2 on tarkemmin selvitetty WOT-käyrän 12 valintamenettelyä esimerkin avulla. Perusperiaate WOT-käyrän 12 valinnalle on se, että johonkin argumenttiin nojaten kyseinen WOT-käyrä 12 tuottaa vauriottoman aukirullauksen rullan loppukäyttöläitteessä. Argumenttina voidaan käyttää mm. laskentamallia RAMA IIc-vaihe, kuten tässä esimerkissä, tai tilastollista mallia tai dataa tai näiden yhdistelmää. Menetely alkaa siitä, että I-vaiheessa valitaan alkuarvaus WOT-käyräksi $WOT_0(D)$ eli suoritetaan iteraation alustus $22 WOT_i = WOT_0(D)$, jossa $D =$ rullan halkaisija. Tämä voi olla esimerkiksi halkaisijasta riippumaton vakio, missä vakion arvo voi olla 15-20 % rainan vetolujuudesta. Tämän jälkeen II-vaiheessa lasketaan rullausmallilla IIa-vaihe, kuten esimerkiksi Hakielin tai von Hertzenin rullausmallilla, rullan jännitysjakautuma heti rullauksen jälkeen. Käytäen tästä tulosta alkuarvona, arvioidaan seuraavaksi jännitysten relaksoitumista IIb-vaihe sillä aikavälillä, joka kuluu ennen kuin rulla aukirullataan loppukäyttöläitteessä. Seuraavassa III-vaiheessa käytetään puolestaan, edellisessä II-vaiheessa, relaksoitumismallista saatuja jännityksiä alkuarvoina ja arvioidaan rullan kestävyyys tai ajettavuus 24 loppukäyttöläitteen aukirullauksessa.

Arvointi voi perustua, kuten tässä esimerkissä, IIc-vaiheen laskentamalliin. Myös tilastollisia ja empiirisää tuloksia tai näiden yhdistelmiä voidaan käyttää. Jos arvioinnin perusteella rulla kestää, on tämä WOT-käyrän 26 valintaprosessi valmis, IV-vaihe. Jos arvioinnin perusteella rulla ei kestä, on palattava I-vaiheeseen ja valittava 5 uusi WOT-käyrä kandidaatti $WOT_1(D)$ 22. Tämä voi olla esimerkiksi jälleen halkaisijasta riippumaton vakio, jonka arvo on vaikkapa 98 % tai 102 % $WOT_0(D)$:stä. Jos tämä uusi WOT-käyrä läpäisee III-vaiheen on WOT-käyrän valintaprosessi valmis 10 IV-vaihe. Jos $WOT_1(D)$ 26 ei myöskään toteuta III-vaihetta, on iterointia jatkettava edelleen 25. Uusi WOT-käyrähdokas voidaan muodostaa kahdesta edellisestä esimerkiksi sekanttimenetelmän variaatiota käyttäen [Erwin Kreyszig: "Advanced Engineering Mathematics". Sixth Edition, John Wiley & Sons, Inc. 1988, sivu 956]. Tällöin voidaan esimerkiksi minimoida RAMA, vaihe IIc, laskennassa jännitysmaksimia mm. jatkuvien funktioiden muodostamassa normiavaruudessa. Tässä, tämän menettelyn selostuksessa, oletetaan, että WOT-käyrän hakuprosessi tuottaa käyrän 15 $WOT_{ref}(D)$ 26, joka IIa-, IIb- ja IIc-vaiheiden jälkeen toteuttaa III-vaiheen, vaikka periaatteessa voisi olla mahdollista mm. se, että jossain kohti WOT:n arvo ylittäisi rainan vetolujuuden, jolloin kelvollista ratkaisua ei löytyisi.

20 Kuviossa 3 on esitetty esimerkki rullausreseptin alkuarvon 13 hakemiseksi. I-vaiheessa suoritetaan iteraation alustus $32 R_j = (N, F, T)_j = R_0(D) = (N_0, F_0, T_0)(D)$, jossa $(N_0, F_0, T_0)(D)$ pitää olla toteutettavissa ja R_j = rullausresepti, N = nippikuormat, F = rullausvoima ja T = ratakireys. Tavoitteena on hakea rullausresepti $R(D) = (N(D), F(D), T(D))$ 32 siten, että kiinnirullaimen WOT-mallilla (ks. Jorkama väitöstyö, tai empiirinen malli) laskettuna rullausresepti tuottaa kuvion 1 I-vaiheessa 25 valitun WOT-käyrän 12. Edellä $N(D)$ on nippikuorma(t) halkaisijan D funktiona, $F(D)$ rullausvoima halkaisijan funktiona ja $T(D)$ rainan kireys ennen kiinnirullainta halkaisijan funktiona. Merkitään tästä tämän osaprosessin lopputuloksena syntynytä rullausreseptiä $R_{ref}(D)$:llä 36. Siis funktiomuodossa tavoitteena on löytää rullausresepti siten, että $WOT_{ref}(D) = WOT_{model}(R_{ref}(D), D)$, missä WOT_{model} funktio kuvaav

WOT-mallia. Menettely on samantapainen kuin muissakin sekanttimenetelmään perustuvissa iteraatioissa. Valitaan ensiksi alkuarvaus $R_i = R_0$, I-vaihe ja lasketaan, II-vaihe, WOT-mallilla 33 $WOT_i = WOT_{model}(R_i(D), D)$ WOT-käyrä $WOT_i = WOT_0$. Alkuarvauksena voidaan käyttää esimerkiksi seuraavia arvoja: Nippikuorma halkaisijasta riippumaton vakio niin pitkään kuin mahdollista, rullausvoima halkaisijasta riippumaton vakio esimerkiksi 75 % ratakireydestä ja ratakireys myös halkaisijasta riippumaton vakio, esimerkiksi 15-20 % rainan vetolujuudesta. Jos III-vaiheen tarkistuksessa WOT_0 on valitun tarkkuusvaatimuksen perusteella tarpeeksi lähellä WOT_{ref} , voidaan siirtyä IV-vaiheeseen ja valita R_0 leikkurin reseptiksi R_{ref} 36. Jos taas WOT_0 ei ole riittävällä tarkkuudella WOT_{ref} , jatketaan iterointia II-vaiheesta valitsemalla uusi rullausresepti R_1 35. Tämä voidaan valita mm. siten, että valitaan ajokireydeksi 98 % ja 102 % R_0 :n ajokireydestä. Jos tämä uusi resepti 35 läpäisee III-vaiheen, on rullausreseptin valintaprosessi valmis. Jos R_1 ei myöskään toteuta III-vaihetta, on iterointia jatkettava edelleen. Uusi rullausreseptiehdokas voidaan muodostaa kahdesta edellisestä esimerkiksi sekanttimenetelmän variaatiota käyttäen. Tällöin voidaan esimerkiksi minimoida $WOT_i(R_i(D), D)$ ja $WOT_{ref}(D)$ välistä etäisyyttä jatkuvien vektoriarvoisten funktioiden muodostamassa normiavaruudessa. Etäisyyfsfunktiona voidaan käyttää esimerkiksi L^2 -normista muodostettua metriikkaa. Rajoite-ehtona minimoinnissa on huomioitava rullauslaitteen mekaniikasta ja paperin lujuudesta seuraavat 20 rajoitukset.

Kuviossa 4 tarkastellaan tarkemmin kuvion 1 V-vaihetta leikkurin ajo 16 siinä tapauksessa, jossa leikkurissa on WOT-mittaus. Lyhyesti sanottuna tässä prosessissa leikkuria ajetaan reseptillä R_{ref} 42. Kuitenkin ajon aikana sitä korjaten siten, että mitattu 25 WOT ja WOT_{ref} yhtyvät 45. Leikkuria ajettaessa mitataan jatkuvasti kiinnirullattavan rullan halkaisijaa sekä WOT:ia 44. WOT:n mittaus voidaan tehdä esimerkiksi viitteiden [Roisum, D., "The Measurement of Web Stresses During Roll Winding" PhD thesis Web Handling Research Center at Oklahoma State University., May 1990] mukaisesti. Tietyn väliajoin (esimerkiksi 5 s) tarkistetaan onko mitattu WOT, jota

merkitään $WOT_{mittaus}$, sama tai asetetun toleranssin päässä $WOT_{ref:stä}$. Rullausreseptiä Rref 46 muutetaan ajon aikana jatkuvasti siten, että $WOT_{mittaus}$ on sama tai asetetun toleranssin päässä $WOT_{ref:stä}$. Tämä säätö voidaan toteuttaa esimerkiksi PID-säätäjänä [K. Åström & T Hägglund: "PID Controllers: Theory, Design, and Tuning". 5 2nd edition, 1995. Sivut 59-119]. Reseptin korjaaminen tapahtuu esimerkiksi ensisijaisesti rullausvoimaa, toissijaisesti nippikuormaa ja viimeiseksi kireyttä säätämällä. Kunkin rullausparametrin kasvattaminen kasvattaa $WOT:ia$.

Keksintöä on edellä selostettu vain erääseen sen edulliseen sovellusesimerkkiin viitaten, 10 jonka yksityiskohtiin eksintöä ei ole kuitenkaan tarkoitus mitenkään ahtaasti rajoittaa.

Esimerkiksi eksintöä on edellä kuvattu sellaiseen esimerkkiin nojaten, jossa menetelmässä laaditaan rullan rullausresepti halkaisijan funktiona. Rullausresepti on mahdollista laatia myös säteen tai kumuloituvan paperin paksuuden määräni rullausytimellä tai rulla- 15 tun rainapituuden tai rullatun rainan kierrosmäärän funktiona.

Patenttivaatimukset

1. Menetelmä kiinnirullaimen ohjaamiseksi, jossa menetelmässä laaditaan rullan rullausresepti (13), joka sisältää rullausparametrit, **tunnettu** siitä, että menetelmässä laskennallisten ja/tai kokeellisten mallien (23) perusteella määritetään rullaimen ajoparametrit ennen ajoa siten, että mallien (23) perusteella rulla kestää vaurioitumatta loppukäyttölaitteessa tapahtuvan aukirullauksen (24).
5
2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että menetelmässä rullaimen ajoparametrit määritetään siten, että mallien (14) perusteella rulla kestää kiinnirullaimessa tapahtuvan kiinnirullauksen (15).
10
3. Patenttivaatimuksen 1 tai 2 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että rullausresepti laaditaan halkaisijan tai säteen tai kumuloituvan paperin paksuuden määärän rullausytimellä tai rullatun rainapituuden tai rullatun rainan kierrosmääärän funktiona.
15
4. Jonkin patenttivaatimuksen 1 - 3 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että menetelmässä lähtötietojen (11) perusteella valitaan WOT (Wound-On-Tension) -käyrä (12), jonka avulla laaditaan rullausresepti (13) siten, että resepti (13) tuottaa valitun WOT-käyrän mukaisen $WOT_{ref}(D)$ –vertailukäyrän ja että aukirullausmallilla (23) tarkistetaan, että rullat kestävät loppukäytössä vaurioitumattomana (24).
20
25. Jonkin patenttivaatimuksen 1 – 4 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että kiinnirullausmallilla (14) tarkistetaan, että rullat kestävät kiinnirullauksessa (15).

6. Jonkin patenttivaatimuksen 1 – 5 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että menetelmässä WOT-käyrän (12) valitsemiseksi suoritetaan WOT-käyrän iteraation alustus (22) ja että lasketaan rullan jännitykset ja rullan relaksatio sekä määritetään laskentamallin (23) perusteella vaurioituuko rulla loppukäytössä ja valitaan sellainen WOT-käyrä, jolla rulla kestää vaurioitumattomana loppukäytössä (24).

5

7. Patenttivaatimuksen 1 - 6 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että menetelmässä rullausreseptin (13) valitsemiseksi suoritetaan iteraation alustus (32) WOT-mallin (33) perusteella ja varmistetaan, että valittu WOT-käyrä vastaa WOT-referenssikäyrää ja otetaan käyttöön valittu rullausresepti.

10

8. Jonkin patenttivaatimuksen 1 - 7 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että ajettaessa rullainta ladataan valittu rullausresepti (42) käyttöön ja ajettaessa tarkkaillaan toteutuuko mitattu WOT-käyrä vastaten WOT-referenssikäyrää ja tarvittaessa korjataan valittua rullausreseptiä (46).

15

9. Jonkin patenttivaatimuksen 1 - 8 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että menetelmässä mitataan rullien sisäinen jännitysjakauma (44) ja/tai lasketaan kuormitusmallilla (14) rullauksen aikana rullaan kohdistuvat voimat ja arvioidaan kuljetuksen aikana tapahtuva rullan sisäisten jännitysten relaksatio mallin (23) avulla sekä lasketaan kuormitusmallilla (23) paperitehtaan asiakkaan jälkikäsittelylaitteessa rullaan kohdistuvat voimat, jolloin mallin (23) avulla aikaansaadaan rullan loppukäytön ajettavuusennuste ja määritetään rullausresepti (13) mallin (14, 23) perusteella, joka tuottaa vaurioitumattoman ajettavuuden loppukäytössä jälkikäsittelykoneella.

20

25

10. Jonkin patenttivaatimuksen 1 - 9 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että menetelmässä määritetään lähtötiedot (11), joiden perusteella laaditaan rul-

lausresepti (13), jota rullausreseptiä iteroidaan WOT (Wound-On-Tension) käyrää (12) iteroinalla, että lasketaan rullan jännitykset ja rullan jännitysten relaksatio (23) sekä mallin (23) perusteella arvioidaan vaurioituuko rulla ja tarvittaessa generoidaan uusi WOT-käyrä (25) ja määritetään rullausresepti (13) WOT-mallia apuna käyttäen, jonka rullausreseptin (13) perusteella ohjataan rullainta (15).

5 11. Jonkin patenttivaatimuksen 1 - 10 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että rullaimen ajon aikana tarkkaillaan toteutuuko aikaansaatu WOT-käyrä (45) ja tarvittaessa korjataan rullausparametrejä (46) siten, että mitattu WOT-käyrä 10 vastaa arvioitua WOT-käyrää.

10 12. Jonkin patenttivaatimuksen 1 – 11 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että rullausreseptin (13) iterointia jatketaan kussakin ajossa ja tarvittaessa määritetään uusi WOT-käyrä paperilajin vaihtuessa.

15 13. Jonkin patenttivaatimuksen 1 – 12 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että menetelmässä

20 a) kiinnirullattavan rullan sisäinen jännitysjakauma (44) mitataan epäsuorasti 3- tai 2-ulotteisena

b) rullauksen aikana rullaan kohdistuvien voimien synnyttämät sisäiset jännitykset lasketaan rullan kuormitusmallilla (14),

c) valmiin rullan sisäisten jännitysten relaksatio ennenkuin rulla käsitellään paperitehtaan asiakkaan jälkikäsittelylaitteessa arvioidaan (23) 25 sekä

d) lasketaan rullan ja aukirullauslaitteen kuormitusmallilla aukirullauksen aikana rullaan kohdistuvat jännitykset ja siirtymät (23).

14. Jonkin patenttivaatimuksen 1 – 13 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että menetelmässä paperilajin lähtötiedot (11) saadaan rullainta edeltävien paperin prosessointilaitteiden off- ja on-line-mittauksista ja leikkurin omista mittauksista.

5

15. Jonkin patenttivaatimuksen 1 – 14 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että rullausreseptin (13) reunaehdot määritetään rullauslaitteen fysikaalisten ominaisuuksien, sekä kuormitusmallin (14) avulla saatavien perustietojen avulla.

10

16. Jonkin patenttivaatimuksen 1 – 15 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että menetelmässä kiinnirullaimen ja jälkikäsittelykoneen rakennemalleissa lasketaan rullan sisällä syntyiä luistoja ja/tai muita vauriomekanismeja.

(57) Tiivistelmä

Menetelmä kiinnirullaimen ohjaamiseksi, jossa menetelmässä laaditaan rullan rullausresepti (13), joka sisältää rullausparametrit. Menetelmässä laskennallisten ja/tai kokeellisten mallien perusteella määritetään rullaimen ajoparametrit ennen ajoa siten, että mallien perusteella rulla kestää vaurioitumatta loppukäyttölaitteessa tapahtuvan aukirullauksen.

FIG. 1

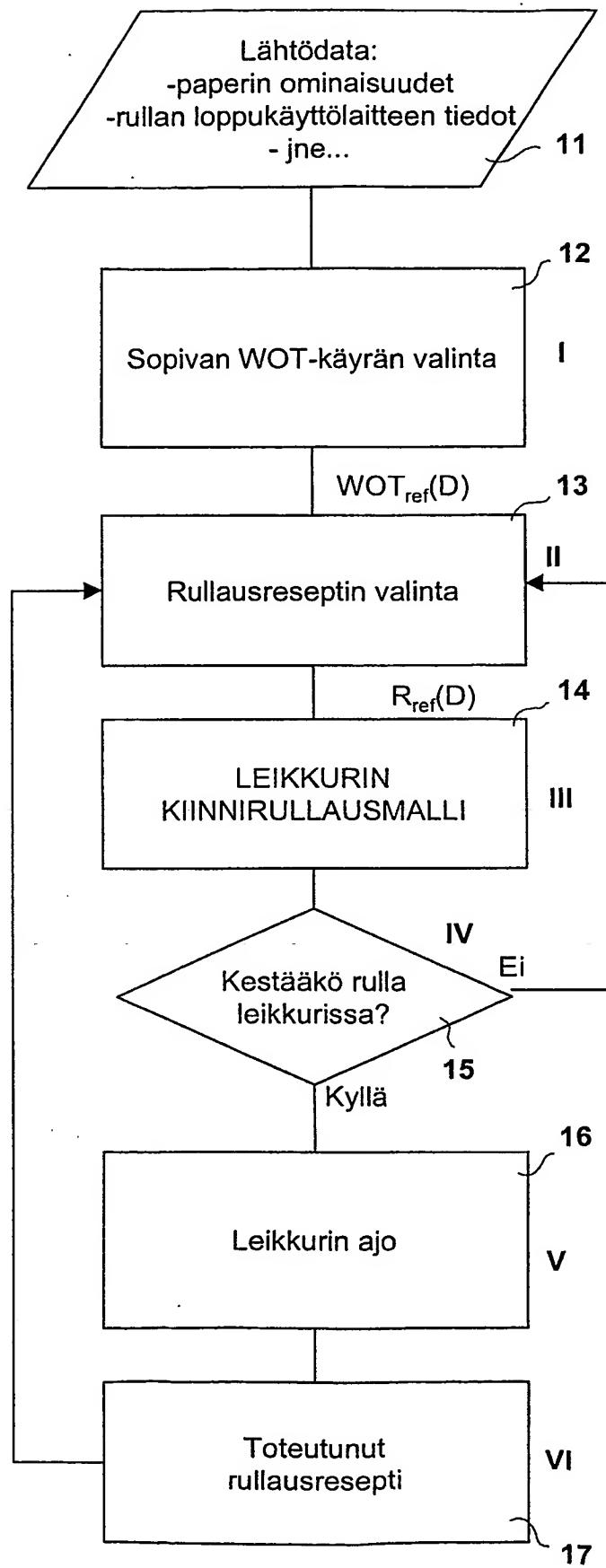


FIG.1

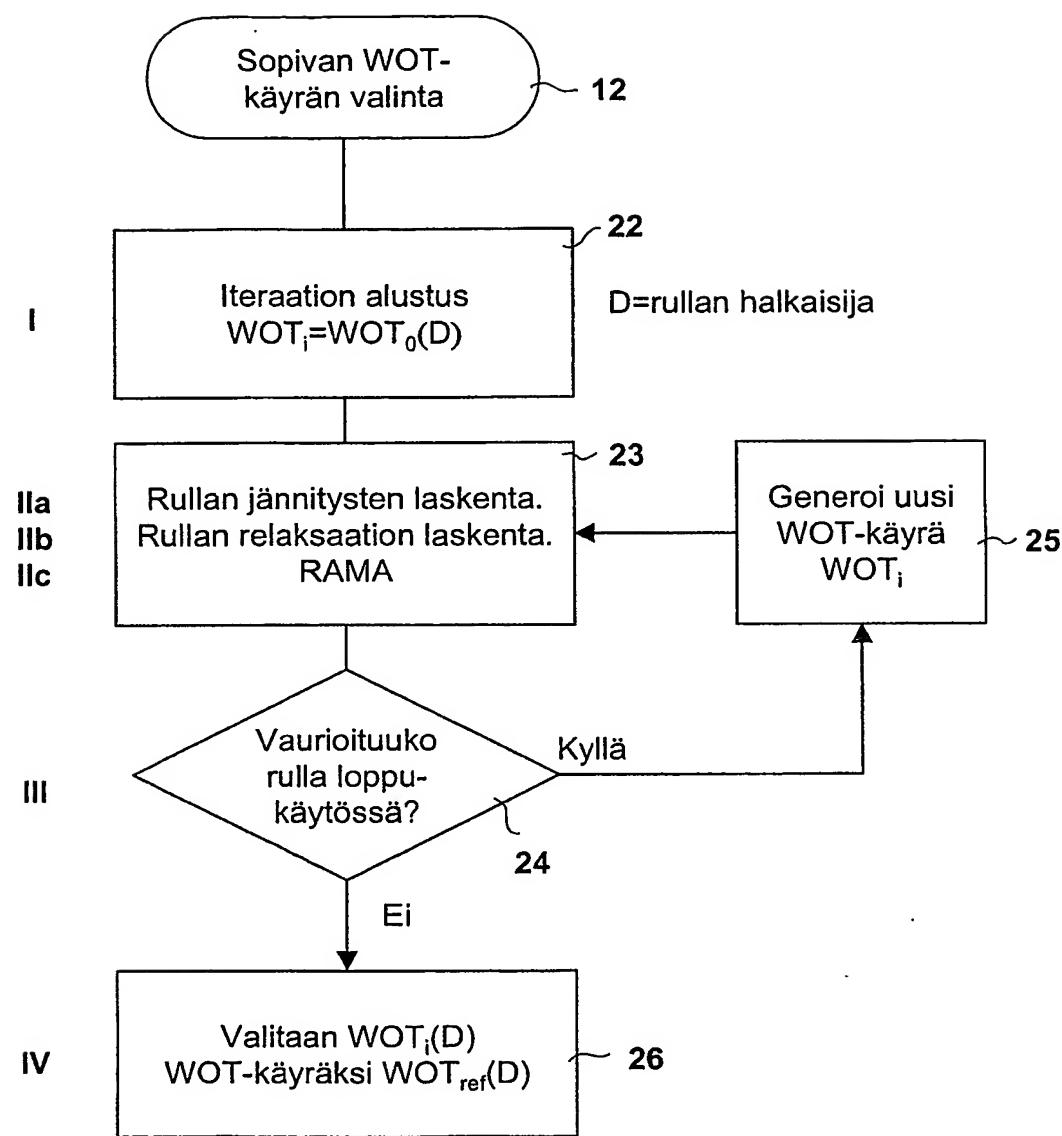


FIG. 2

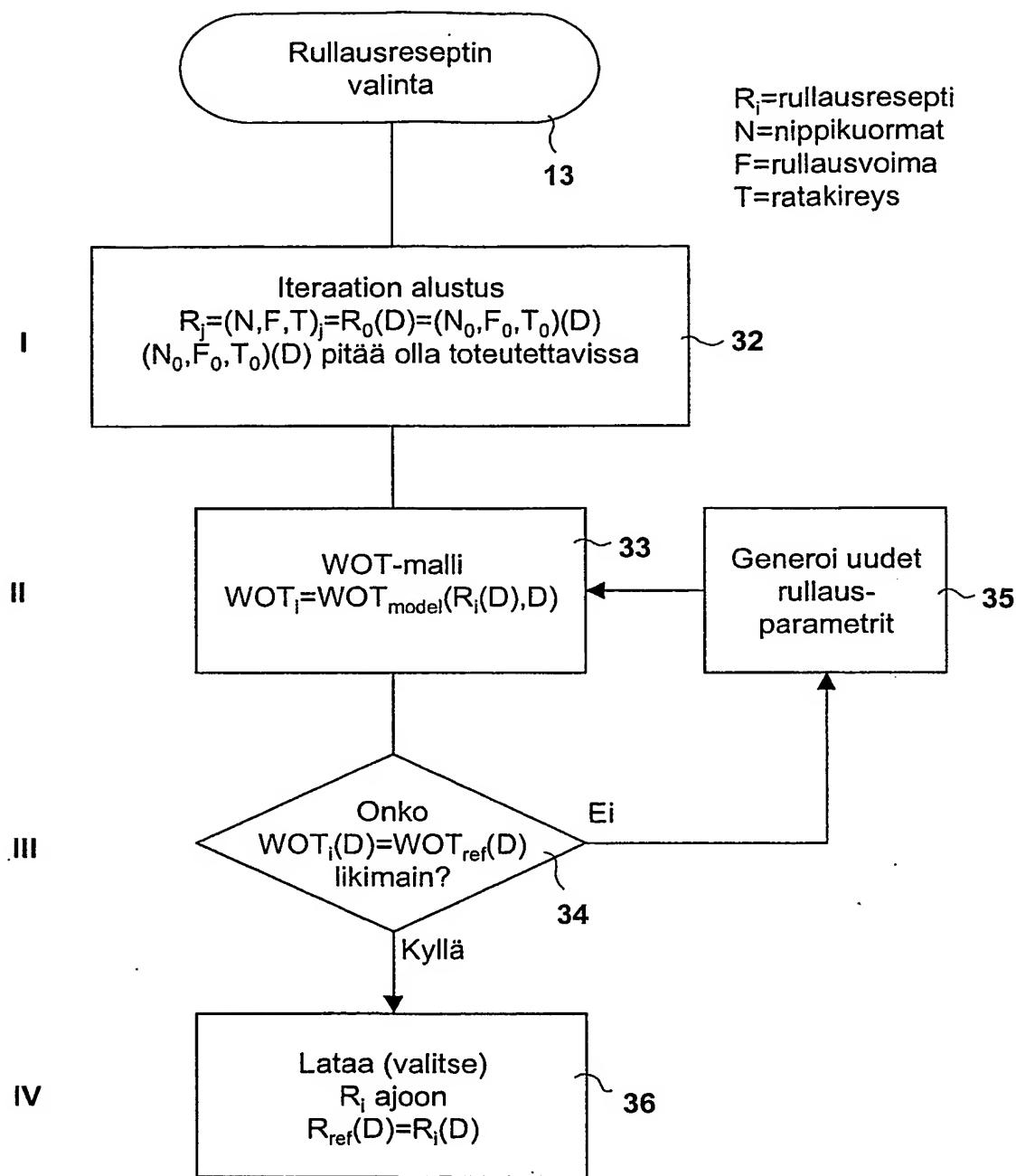


FIG. 3

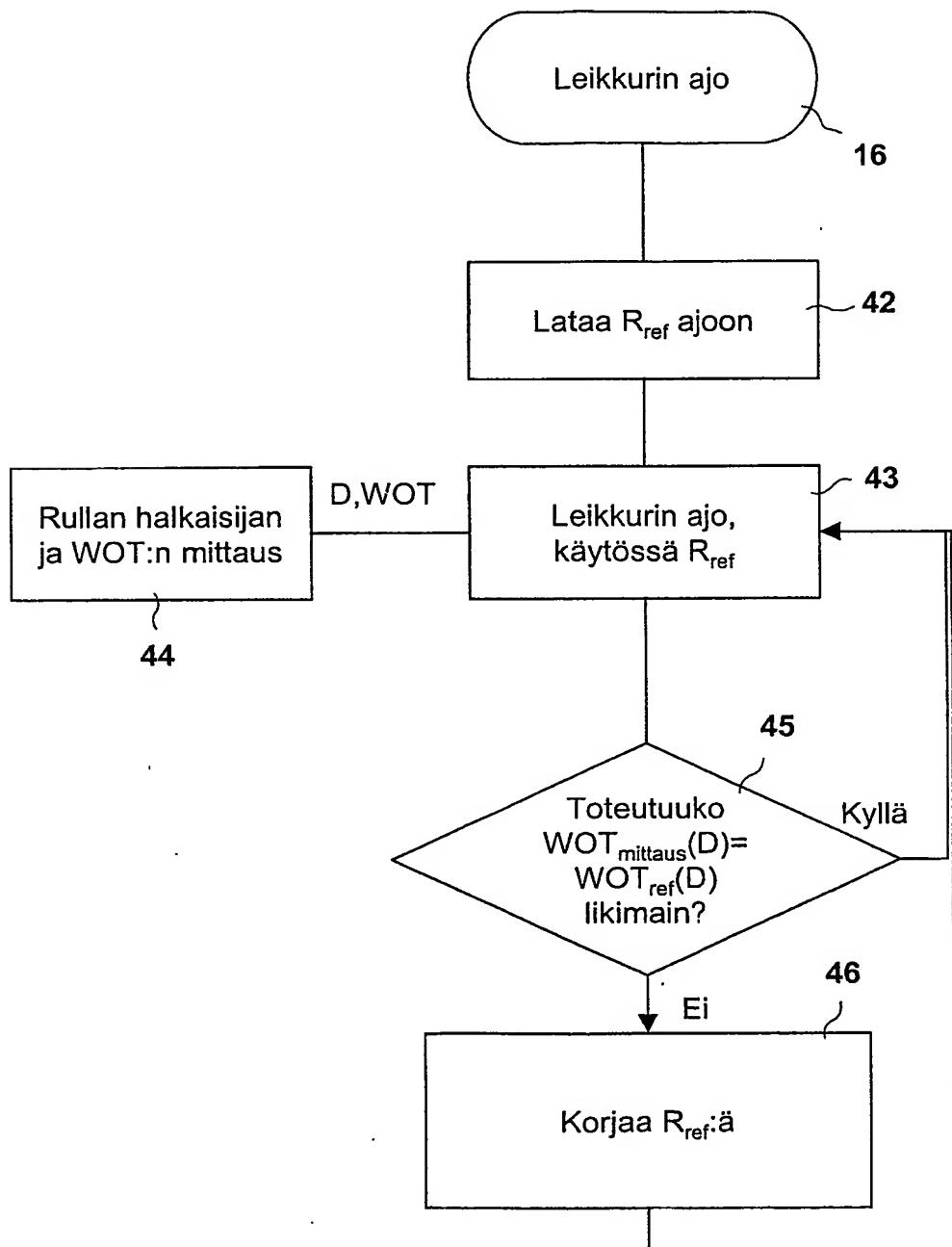


FIG.4